

## **Verfahren zur Regelung eines Verdrehwinkels sowie Phasenverstellvorrichtung zur Durchführung eines derartigen Verfahrens**

- Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung eines relativen Verdrehwinkels zwischen einer Nockenwelle und einer Kurbelwelle in einer Brennkraftmaschine mittels einer elektromechanischen Phasenverstellvorrichtung. Die Erfindung betrifft ferner eine Phasenverstellvorrichtung zur Durchführung eines derartigen Verfahrens.
- 5
- 10 Elektromechanische Phasenverstellvorrichtungen der gattungsgemäßen Art sind aus der DE 100 38 354 A1 oder der DE 102 22 475 A1 bekannt. Derartige Phasenverstellvorrichtungen dienen zum Verstellen des relativen Verdrehwinkels zwischen einer Nockenwelle und der Kurbelwelle einer Brennkraftmaschine. Durch das Verstellen dieses Verdrehwinkels können
- 15 die Öffnungszeiten der Einlass- oder Auslassventile gezielt beeinflusst werden, was sich beim Betrieb von Brennkraftmaschinen hinsichtlich des Kraftstoffverbrauchs und der Schadstoffemissionen als vorteilhaft erwiesen hat.
- 20 Aus der DE 102 59 134 A1 ist eine Verdrehwinkel-Kaskadenregelung für derartige elektromechanische Phasenverstellvorrichtungen bekannt, die als Regelgröße in einem unterlagerten Regelkreis die Stellglied-Drehzahl verwendet. Nachteilig bei einer derartigen Verdrehwinkel-Kaskadenregelung ist, dass die Stellglied-Drehzahl von der zeitlichen Änderungen des Verdrehwinkels abweicht und die Verdrehwinkel-Kaskadenregelung somit ein
- 25 schlechtes Regelverhalten aufweist.

Hiervon ausgehend liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur schnellen und genauen Regelung des relativen Verdrehwinkels zwi-

schen einer Nockenwelle und einer Kurbelwelle in einer Brennkraftmaschine mittels einer elektromechanischen Phasenverstellvorrichtung anzugeben.

- 5 Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Der Kern der Erfindung besteht darin, dass zunächst aus zumindest einer in der Regel einfach messbaren Messgröße die zeitliche Änderung des Verdrehwinkels, nachfolgend als Verstellgeschwindigkeit bezeichnet, berechnet und diese als Regelgröße verwendet
- 10 wird. Die aus zumindest einer Messgröße berechnete Ist-Verstellgeschwindigkeit wird mit einer Soll-Verstellgeschwindigkeit verglichen und die sich daraus ergebende Verstellgeschwindigkeits-Regelabweichung wird einem Verstellgeschwindigkeits-Regler zugeführt, wobei dieser einem Verdrehwinkel-Regler unterlagert ist, der die Soll-
- 15 Verstellgeschwindigkeit vorgibt. Dadurch, dass die Verstellgeschwindigkeit aus zumindest einer in der Regel einfach messbaren Messgröße berechnet wird, ist eine aufwändige und teure direkte Messung nicht erforderlich. Gleichzeitig kann in dem Verfahren als Regelgröße direkt die zeitliche Änderung des Verdrehwinkels verwendet werden, was zu einem schnelleren und genaueren Einregelverhalten des Verdrehwinkels führt.
- 20

- Wird eine Ist-Verstellgeschwindigkeit gemäß Anspruch 2 berechnet, so fließt in die Berechnung der Ist-Verstellgeschwindigkeit die der Phasenverstellvorrichtung überlagerte Drehzahl der Brennkraftmaschine ein, so dass
- 25 ein als Störung wirkender Betriebspunktwechsel der Brennkraftmaschine verzögerungsfrei und exakt ausgeregelt oder ein gleichzeitig mit einer Verstellung des relativen Verdrehwinkels stattfindender Betriebspunktwechsel der Brennkraftmaschine zum Einregeln des relativen Verdrehwinkels benutzt wird.

Eine Berechnung der Überlagerungsdrehzahl gemäß Anspruch 3 ist einfach durchführbar, da sich die Überlagerungsdrehzahl als die Hälfte der Drehzahl der Kurbelwelle ergibt.

5

Eine Berechnung in einem Beobachtermodell gemäß Anspruch 4 erlaubt eine sehr präzise Bestimmung der Ist-Verstellgeschwindigkeit, da Ungenauigkeiten in der Berechnung der Ist-Verstellgeschwindigkeit in dem Beobachtermodell korrigiert werden.

10

Ein Soll-Strom gemäß Anspruch 5 erlaubt die Unterlagerung eines Strom-Reglers.

15

Ein dem Verstellgeschwindigkeits-Regler unterlagerter Strom-Regler gemäß Anspruch 6 erlaubt ein verzögerungsfreies und exaktes Ausregeln von Störungen auf den Strom des Stellgliedes und somit auf das Antriebsmoment des Stellgliedes. Störungen können sich beispielsweise durch die Temperaturabhängigkeit von Widerständen des Stellgliedes ergeben.

20

Eine Begrenzung des Soll-Stroms gemäß Anspruch 7 ermöglicht einen wirkungsvollen Schutz des Stellgliedes vor Überlastung.

25

Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, eine Phasenverstellvorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens zur schnellen und genauen Regelung eines relativen Verdrehwinkels zwischen einer Nockenwelle und einer Kurbelwelle in einer Brennkraftmaschine bereitzustellen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Phasenverstellvorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 8 gelöst. Die Vorteile der erfin-

dungsgemäßen Phasenverstellvorrichtung entsprechen denen, die oben im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Regelung eines relativen Verdrehwinkels zwischen einer Nockenwelle und einer Kurbelwelle ausgeführt wurden.

5

Eine Weiterbildung gemäß Anspruch 9 führt zu den im Zusammenhang mit Anspruch 6 genannten Vorteilen.

Ein Gleichstrommotor gemäß Anspruch 10 erlaubt eine einfache Auslegung und Einstellung der Regler.

10

Nachfolgend wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den Zeichnungen näher beschrieben. Dabei zeigen:

15 Fig. 1 eine Prinzipdarstellung einer Brennkraftmaschine mit einer Phasenverstellvorrichtung,

Fig. 2 eine schematische Darstellung eines Verfahrens zur Regelung eines relativen Verdrehwinkels zwischen einer Nockenwelle und einer Kurbelwelle mittels einer Phasenverstellvorrichtung gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel,

20

Fig. 3 eine schematische Darstellung eines Verfahrens zur Regelung eines relativen Verdrehwinkels gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel,

25

Fig. 4 eine schematische Darstellung eines Verfahrens zur Regelung eines relativen Verdrehwinkels gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel, und

Fig. 5 eine schematische Darstellung eines Verfahrens zur Regelung eines relativen Verdrehwinkels gemäß einem vierten Ausführungsbeispiel.

5

Fig. 1 zeigt eine Brennkraftmaschine 1, die in bekannter Weise aufgebaut ist. Die Brennkraftmaschine 1 umfasst mehrere in Reihe angeordnete Zylinder 2, in denen jeweils ein Kolben 3 geführt ist. Jeder Kolben 3 ist mittels einer Pleuelstange 4 mit einer Kurbelwelle 5 verbunden, wobei die Kurbelwelle 5 um eine Kurbelwellen-Drehachse 6 drehbar gelagert ist. An einem ersten Ende der Kurbelwelle 5 ist ein Kurbelwellensensor 7 angeordnet, der zur Messung eines Drehwinkels  $\Phi_K$  und einer Drehzahl  $\Omega_K$  der Kurbelwelle 5 dient. An einem zweiten Ende der Kurbelwelle 5 ist ein Kurbelwellenrad 8 angeordnet, das über einen Zahnriemen 9 ein Nockenwellenrad 10 antreibt. Das Nockenwellenrad 10 ist mit einer elektromechanischen Phasenverstellvorrichtung 11 und einer Nockenwelle 12 gekoppelt.

Die Phasenverstellvorrichtung 11 umfasst ein Taumelscheibengetriebe 13 und ein Stellglied 14 in Form eines Gleichstrommotors, wobei das Taumelscheibengetriebe 13 mit dem Gleichstrommotor 14, dem Nockenwellenrad 10 und der Nockenwelle 12 derart verbunden ist, dass ein Drehwinkel  $\Phi_N$  der Nockenwelle 12 einstellbar ist. Bezüglich des detaillierten Aufbaus des Taumelscheibengetriebes 13 wird auf die DE 100 38 354 A1 und die DE 102 22 475 A1 verwiesen.

25

Entlang der Nockenwelle 12 sind mehrere beabstandet angeordnete Nocken 15 befestigt, welche jeweils ein Ventil 16 zum Ein- oder Auslassen von Gas in die Zylinder 2 betätigen. An einem dem Nockenwellenrad 10 abgewandten Ende der Nockenwelle 12 ist ein Nockenwellensensor 17 an-

geordnet, der zur Messung des Drehwinkels  $\Phi_N$  und der Drehzahl  $\Omega_N$  der Nockenwelle 12 dient.

Die Phasenverstellvorrichtung 11 umfasst weiterhin eine Regel- und Steuereinheit 18, die zur Übertragung von Messdaten mit dem Kurbelwellensensor 7, dem Nockenwellensensor 17, einem ersten Stellgliedsensor 19 und einem zweiten Stellgliedsensor 20 verbunden ist. Der erste Stellgliedsensor 19 dient zur Messung des Drehwinkels  $\Phi_S$  und der Drehzahl  $\Omega_S$  des Gleichstrommotors 14 und der zweite Stellgliedsensor 20 dient zur Messung des Ankerstroms  $I_S$  des Gleichstrommotors 14. Zum Ansteuern des Gleichstrommotors 14 ist die Regel- und Steuereinheit 18 mit einer nicht dargestellten leistungselektronischen Schaltung verbunden, mittels der der Gleichstrommotor 14 betätigt wird. Mittels des Gleichstrommotors 14 und dem angetriebenen Nockenwellenrad 10 wird über das Taumelscheibengetriebe 13 die Nockenwelle 12 um eine Nockenwellen-Drehachse 21 gedreht.

Zur Veränderung der Öffnungszeiten der Ventile 16 ist ein relativer Verdrehwinkel  $\Phi$  zwischen der Nockenwelle 12 und der Kurbelwelle 5 definiert, der sich zu  $\Phi = \Phi_N - \Phi_K$  berechnet. Die Verstellgeschwindigkeit  $\Omega$  ist als die zeitliche Änderung des relativen Verstellwinkels  $\Phi$  mit der Dimension  $^\circ/\text{sec}$  definiert. Insbesondere wird die Verstellgeschwindigkeit  $\Omega$  auf die Kurbelwelle 5 bezogen und weist somit die Einheit  $^\circ\text{Kurbelwelle}/\text{sec}$  auf. Die Drehzahl des Nockenwellenrades 10 wird nachfolgend als Überlagerungsdrehzahl  $\Omega_{\text{Ü}}$  bezeichnet. Aufgrund der festen Kopplung zwischen der Kurbelwelle 5 und dem Nockenwellenrad 10 mittels des Zahnriemens 9 ergibt sich die Überlagerungsdrehzahl zu  $\Omega_{\text{Ü}} = \Omega_K/2$ .



Im stationären Betrieb der Phasenverstellvorrichtung 11, d. h. wenn keine Änderung des relativen Verdrehwinkels  $\Phi$  erfolgen soll, muss sich aufgrund des konstruktiven Aufbaus des Taumelscheibengetriebes 13 der Gleichstrommotor 14 immer mit der Überlagerungsdrehzahl  $\Omega_{\dot{U}} = \Omega_K/2$  drehen, damit der relative Verdrehwinkel  $\Phi$  zwischen der Nockenwelle 12 und der Kurbelwelle 5 konstant bleibt. Soll der relative Verdrehwinkel  $\Phi$  verändert werden, so muss sich der Gleichstrommotor 14 je nach Verdrehrichtung entweder schneller oder langsamer als die Überlagerungsdrehzahl  $\Omega_{\dot{U}} = \Omega_K/2$  drehen. Durch die Veränderung des Verdrehwinkels  $\Phi$  werden die Öffnungszeiten der Ventile 16 verändert, wodurch das Betriebsverhalten der Brennkraftmaschine 1 verändert wird.

Nachfolgend wird mit Bezug auf Fig. 2 ein in der Regel- und Steuereinheit 18 der Phasenverstellvorrichtung 11 realisiertes Verfahren zur Regelung des relativen Verdrehwinkels  $\Phi$  gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel genauer beschrieben. In einem ersten Berechnungsmodul 22 wird zunächst eine Verdrehwinkel-Regelabweichung  $\Delta\Phi$  zwischen einem einzustellenden Soll-Verdrehwinkel  $\Phi_{\text{SOLL}}$  und einem ermittelten Ist-Verdrehwinkel  $\Phi_{\text{IST}}$  berechnet. Die Verdrehwinkel-Regelabweichung  $\Delta\Phi$  wird anschließend einem Verdrehwinkel-Regler 23 zugeführt, in dem eine von der Verdrehwinkel-Regelabweichung  $\Delta\Phi$  abhängige Soll-Verstellgeschwindigkeit  $\Omega_{\text{SOLL}}$  berechnet wird. Der Soll-Verdrehwinkel  $\Phi_{\text{SOLL}}$  wird durch eine nicht dargestellte übergeordnete Motorsteuerung vorgegeben. Der Ist-Verdrehwinkel  $\Phi_{\text{IST}}$  kann entweder durch direkte Messung ermittelt werden, wie aus der DE 102 36 507 A1 bekannt ist, oder aus vorliegenden Messgrößen, wie beispielsweise dem Drehwinkel  $\Phi_K$  der Kurbelwelle 5, dem Drehwinkel  $\Phi_N$  der Nockenwelle 12 und dem Drehwinkel  $\Phi_S$  des Gleichstrommotors 14 berechnet werden. Ist die Messung oder Berechnung

des Ist-Verdrehwinkels  $\Phi_{IST}$  ideal, so entspricht dieser dem relativen Verdrehwinkel  $\Phi$ .

In einem zweiten Berechnungsmodul 24 wird weiterhin eine Verstellgeschwindigkeits-Regelabweichung  $\Delta\Omega$  zwischen der Soll-Verstellgeschwindigkeit  $\Omega_{SOLL}$  und einer berechneten Ist-Verstellgeschwindigkeit  $\Omega_{IST}$  berechnet. Zur Berechnung der Ist-Verstellgeschwindigkeit  $\Omega_{IST}$  ist ein Verstellgeschwindigkeits-Berechnungsmodul 25 vorgesehen, indem die Ist-Verstellgeschwindigkeit  $\Omega_{IST}$  in Abhängigkeit der gemessenen Drehzahl  $\Omega_S$  des Gleichstrommotors 14 und der Überlagerungsdrehzahl  $\Omega_U = \Omega_K/2$  des Nockenwellenrades 10 berechnet wird. Ist die Berechnung der Ist-Verstellgeschwindigkeit  $\Omega_{IST}$  ideal, so entspricht diese der Verstellgeschwindigkeit  $\Omega$ . Die Verstellgeschwindigkeits-Regelabweichung  $\Delta\Omega$  wird einem dem Verdrehwinkel-Regler 23 unterlagerten Verstellgeschwindigkeits-Regler 26 zugeführt, in dem eine von der Verstellgeschwindigkeits-Regelabweichung  $\Delta\Omega$  abhängige Ausgangsgröße berechnet und ausgegeben wird. Die Ausgangsgröße des Verstellgeschwindigkeits-Reglers 26 ist ein Sollwert für die stromtreibende Spannung des Gleichstrommotors 14, der durch eine nicht dargestellte leistungselektronische Schaltung an dem Gleichstrommotor 14 eingestellt wird. Abhängig von der Ausgangsgröße des Verstellgeschwindigkeits-Reglers 26 verstellt der Gleichstrommotor 14 über das Taumelscheibengetriebe 13 den Verdrehwinkel  $\Phi$ , bis der einzustellende Soll-Verdrehwinkel  $\Phi_{SOLL}$  erreicht ist und die Verdrehwinkel-Regelabweichung  $\Delta\Phi$  zu Null wird. Der Verdrehwinkel-Regler 23 ist Teil eines ersten Regelkreises zur Regelung des Verdrehwinkels  $\Phi$  und der Verstellgeschwindigkeits-Regler 26 ist Teil eines zweiten Regelkreises zur Regelung der Verstellgeschwindigkeit  $\Omega$ , wobei der zweite Regelkreis dem ersten Regelkreis kaskadenartig unterlagert ist.



Durch die Regelung der Verstellgeschwindigkeit  $\Omega$  können einerseits Änderungen in der Überlagerungsdrehzahl  $\Omega_U$ , d. h. Betriebspunktwechsel der Brennkraftmaschine, die für die Regelung als Störgröße wirken (vgl. Pfeil bei Taumelscheibengetriebe 13 in Fig. 2) verzögerungsfrei und exakt in dem unterlagerten Regelkreis zur Regelung der Verstellgeschwindigkeit  $\Omega$  ausgeregelt werden, andererseits können Änderungen in der Überlagerungsdrehzahl  $\Omega_U$  bei einem gleichzeitig mit einer Verstellung des relativen Verdrehwinkels  $\Phi$  stattfindenden Betriebspunktwechsels dazu genutzt werden, den relativen Verdrehwinkel  $\Phi$  schnell einzuregeln. Dies ist dadurch möglich, da die Überlagerungsdrehzahl  $\Omega_U$  in die Berechnung der Ist-Verstellgeschwindigkeit  $\Omega_{IST}$  eingeht. Dadurch, dass direkt die Verstellgeschwindigkeit  $\Omega$  geregelt wird, ist es außerdem möglich, dass für den Verdrehwinkel-Regler 23 und den Verstellgeschwindigkeits-Regler 26 lineare Reglerstrukturen zum Einsatz kommen können, so dass die Auslegung und Parametrierung der Regler 23, 26 einfach möglich ist. Zusätzlich wird der Rechenaufwand in der Regel- und Steuereinheit 18 gering gehalten. Durch die Anwendung linearer Reglerstrukturen können bekannte lineare Methoden zur Parametrierung der Regler 23, 26 angewendet werden. Die unterlagerte Regelung der Verstellgeschwindigkeit  $\Omega$  erlaubt ein schnelles Einschwingen der Regelung des Verdrehwinkels  $\Phi$  bei geringem Überspringen und sehr guter stationärer Regelgenauigkeit. Zusätzlich ist die Anzahl der einzustellenden Parameter der Regler 23, 26 überschaubar, so dass die Parametrierung der Regler 23, 26 für einen Applikateur anschaulich und somit leicht durchführbar ist.

25

Nachfolgend wird unter Bezugnahme auf Fig. 3 ein in der Regel- und Steuereinheit 18 realisiertes Verfahren zur Regelung des Verdrehwinkels  $\Phi$  gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel beschrieben. Der wesentliche Unterschied gegenüber dem ersten Ausführungsbeispiel besteht darin, dass

die Ausgangsgröße des Verstellgeschwindigkeits-Reglers 26 und die Drehzahl  $\Omega_s$  des Gleichstrommotors 14 einer Störgrößenkompensation 27 zugeführt werden, in der eine von der Drehzahl  $\Omega_s$  des Gleichstrommotors 14 abhängige Selbstinduktionsspannung des Gleichstrommotors 14 kompensiert wird. Die Ausgangsgröße der Störgrößenkompensation 27 ist ein abhängig von der Selbstinduktionsspannung kompensierter Sollwert für die stromtreibende Spannung des Gleichstrommotors 14, der einer leistungselektronischen Schaltung zugeführt und durch diese an dem Gleichstrommotor 14 eingestellt wird. Durch die Störgrößenkompensation 27 kann die Dynamik der Regelung des Verdrehwinkels  $\Phi$  verbessert werden.

Nachfolgend wird unter Bezugnahme auf Fig. 4 ein in der Regel- und Steuereinheit 18 realisiertes Verfahren zur Regelung des Verdrehwinkels  $\Phi$  gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel beschrieben. Der wesentliche Unterschied gegenüber dem ersten und zweiten Ausführungsbeispiel besteht darin, dass die Ist-Verstellgeschwindigkeit  $\Omega_{IST}$  in einem Beobachtermodell 28 berechnet wird. In dem Beobachtermodell 28 ist die Phasenverstellvorrichtung 11 zumindest teilweise modelliert, wobei die modellierten Zustandsgrößen der Phasenverstellvorrichtung 11, insbesondere die Ist-Verstellgeschwindigkeit  $\Omega_{IST}$ , ständig durch einen Abgleich des Beobachtermodells 28 mittels des Ist-Verdrehwinkels  $\Phi_{IST}$  korrigiert werden. Durch den Abgleich des Beobachtermodells 28 wird verhindert, dass die berechnete Ist-Verstellgeschwindigkeit  $\Omega_{IST}$  infolge des integrierenden Systemverhaltens von der realen Verstellgeschwindigkeit  $\Omega$  abdriftet. Die Ist-Verstellgeschwindigkeit  $\Omega_{IST}$  kann in dem Beobachtermodell 28 sehr exakt berechnet werden.

Nachfolgend wird unter Bezugnahme auf Fig. 5 ein in der Regel- und Steuereinheit 18 realisiertes Verfahren zur Regelung des Verdrehwinkels  $\Phi$

gemäß einem vierten Ausführungsbeispiel beschrieben. Der wesentliche Unterschied gegenüber den vorangegangenen Ausführungsbeispielen besteht darin, dass die Ausgangsgröße des Verstellgeschwindigkeits-Reglers 26 als ein Soll-Strom  $I_{SOLL}$  des Gleichstrommotors 14 interpretiert wird und in einem dritten Berechnungsmodul 29 zunächst eine Strom-Regelabweichung  $\Delta I$  zwischen dem Soll-Strom  $I_{SOLL}$  und einem gemessenen Ist-Strom  $I_{IST}$  des Gleichstrommotors 14 berechnet wird. Anschließend wird in einem dem Verstellgeschwindigkeits-Regler 26 unterlagerten Strom-Regler 30 eine von der Strom-Regelabweichung  $\Delta I$  abhängige Stellgröße zum Verstellen des Verdrehwinkels  $\Phi$  berechnet. Die Messung des Ist-Stromes  $I_{IST}$  des Gleichstrommotors 14 erfolgt mittels des zweiten Stellgliedsensors 20. Ist die Messung des Ist-Stromes  $I_{IST}$  ideal, so entspricht dieser dem Ankerstrom  $I_s$  des Gleichstrommotors 14. Durch die Regelung des Ist-Stromes  $I_{IST}$  des Gleichstrommotors 14 wird dem ersten und zweiten Regelkreis ein dritter Regelkreis unterlagert. Durch die Regelung des Ist-Stroms  $I_{IST}$  können Störungen auf den Ankerstrom  $I_s$  und damit auf das Antriebsmoment des Gleichstrommotors 14 verzögerungsfrei und exakt ausgeregelt werden. In dem Strom-Regler 30 ist ferner eine Strombegrenzung vorgesehen, die zur Begrenzung des Soll-Stromes  $I_{SOLL}$  auf einen maximalen Stromwert  $I_{MAX}$  dient, wodurch auch der Ankerstrom  $I_s$  begrenzt wird. Die Strombegrenzung dient zum Schutz des Gleichstrommotors 14 vor Überlastung. Die Störgrößenkompensation 27 und das Beobachtermodell 28 sind mit dem Verfahren zur Regelung des Verdrehwinkels  $\Phi$  gemäß dem vierten Ausführungsbeispiel kombinierbar.

25

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren sind bei einer Nennleistung von 50 Watt des Gleichstrommotors 14 momentane Verstellgeschwindigkeiten  $\Omega$  von bis zu 900 °Kurbelwelle/sec bei einem maximal zulässigen Überschwingen von kleiner als 2,5 °Kurbelwelle möglich. Die stationäre Genau-

igkeit des relativen Verdrehwinkels  $\Phi$  ist kleiner als  $\pm 1^\circ$  Kurbelwelle.  
Durch das erfindungsgemäße Verfahren werden außerdem Störungen, insbesondere eine als Störung wirkende Änderung der Drehzahl  $\Omega_K$  der Kurbelwelle 5, sehr gut ausgeglichen. Ist weiterhin ein Strom-Regler 30 vorgesehen, werden Störungen auf den Ankerstrom  $I_S$  des Gleichstrommotors 14 verzögerungsfrei und exakt ausgeglichen.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung eines relativen Verdrehwinkels ( $\Phi$ ) zwischen einer Nockenwelle (12) und einer Kurbelwelle (5) mittels einer elektromechanischen Phasenverstellvorrichtung (11), umfassend die Schritte:
  - Berechnen einer Verdrehwinkel-Regelabweichung ( $\Delta\Phi$ ) zwischen einem einzustellenden Soll-Verdrehwinkel ( $\Phi_{\text{SOLL}}$ ) und einem ermittelten Ist-Verdrehwinkel ( $\Phi_{\text{IST}}$ ) in einem ersten Regelkreis,
  - Berechnen einer von der Verdrehwinkel-Regelabweichung ( $\Delta\Phi$ ) abhängigen Soll-Verstellgeschwindigkeit ( $\Omega_{\text{SOLL}}$ ) mittels eines Verdrehwinkel-Reglers (23),
  - Berechnen einer Verstellgeschwindigkeits-Regelabweichung ( $\Delta\Omega$ ) zwischen der Soll-Verstellgeschwindigkeit ( $\Omega_{\text{SOLL}}$ ) und einer aus zumindest einer Messgröße berechneten Ist-Verstellgeschwindigkeit ( $\Omega_{\text{IST}}$ ) in einem dem ersten Regelkreis unterlagerten zweiten Regelkreis,
  - Berechnen einer von der Verstellgeschwindigkeits-Regelabweichung ( $\Delta\Omega$ ) abhängigen Ausgangsgröße mittels eines dem Verdrehwinkel-Reglers (23) unterlagerten Verstellgeschwindigkeits-Reglers (26), und
  - Verstellen des Verdrehwinkels ( $\Phi$ ) in Abhängigkeit der in den vorangegangenen Schritten berechneten Größen mittels eines elektromechanischen Stellgliedes (14).
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ist-Verstellgeschwindigkeit ( $\Omega_{\text{IST}}$ ) zumindest aus einer Drehzahl ( $\Omega_{\text{S}}$ ) des

Stellgliedes (14) und einer Überlagerungsdrehzahl ( $\Omega_U$ ) einer Antriebswelle oder einer mit dieser gekoppelten Welle berechnet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Überlagerungsdrehzahl ( $\Omega_U$ ) zumindest aus der Drehzahl ( $\Omega_K$ ) der Kurbelwelle (5) berechnet wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ist-Verstellgeschwindigkeit ( $\Omega_{IST}$ ) in einem Beobachtermodell (28) berechnet wird.
5. Verfahren nach Anspruch 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ausgangsgröße des Verstellgeschwindigkeits-Reglers (26) ein Soll-Strom ( $I_{SOLL}$ ) des Stellgliedes (14) ist.
6. Verfahren nach Anspruch 5, **gekennzeichnet durch** die Schritte:
  - Berechnen einer Strom-Regelabweichung ( $\Delta I$ ) zwischen dem Soll-Strom ( $I_{SOLL}$ ) und einem gemessenen Ist-Strom ( $I_{IST}$ ) des Stellgliedes (14) in einem dem zweiten Regelkreis unterlagerten dritten Regelkreis, und
  - Berechnen einer von der Strom-Regelabweichung ( $\Delta I$ ) abhängigen Stellgröße mittels eines dem Verstellgeschwindigkeits-Reglers (26) unterlagerten Strom-Reglers (30) vor dem Verstellen des Verdrehwinkels ( $\Phi$ ).
7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Soll-Strom ( $I_{SOLL}$ ) auf einen maximalen Stromwert ( $I_{MAX}$ ) begrenzt ist.



8. Phasenverstellvorrichtung (11) zur Regelung eines relativen Verdrehwinkels ( $\Phi$ ) zwischen einer Nockenwelle (12) und einer Kurbelwelle (5), umfassend

- 5           - ein erstes Berechnungsmodul (22) zum Berechnen einer Verdrehwinkel-Regelabweichung ( $\Delta\Phi$ ) zwischen einem einzustellenden Soll-Verdrehwinkel ( $\Phi_{\text{SOLL}}$ ) und einem ermittelten Ist-Verdrehwinkel ( $\Phi_{\text{IST}}$ ) in einem ersten Regelkreis,
- 10           - einen Verdrehwinkel-Regler (23) zum Berechnen einer von der Verdrehwinkel-Regelabweichung ( $\Delta\Phi$ ) abhängigen Soll-Verstellgeschwindigkeit ( $\Omega_{\text{SOLL}}$ ),
- 15           - ein zweites Berechnungsmodul (24) zum Berechnen einer Verstellgeschwindigkeits-Regelabweichung ( $\Delta\Omega$ ) zwischen der Soll-Verstellgeschwindigkeit ( $\Omega_{\text{SOLL}}$ ) und einer aus zumindest einer Messgröße berechneten Ist-Verstellgeschwindigkeit ( $\Omega_{\text{IST}}$ ) in einem dem ersten Regelkreis unterlagerten zweiten Regelkreis,
- 20           - einen dem Verdrehwinkel-Regler (23) unterlagerten Verstellgeschwindigkeits-Regler (26) zum Berechnen einer von der Verstellgeschwindigkeits-Regelabweichung ( $\Delta\Omega$ ) abhängigen Ausgangsgröße, und
- ein elektromechanisches Stellglied (14) zum Verstellen des Verdrehwinkels ( $\Phi$ ).

9. Phasenverstellvorrichtung nach Anspruch 8, umfassend

- 25           - ein drittes Berechnungsmodul (29) zum Berechnen einer Strom-Regelabweichung ( $\Delta I$ ) zwischen einem Soll-Strom ( $I_{\text{SOLL}}$ ) und einem gemessenen Ist-Strom ( $I_{\text{IST}}$ ) des Stellgliedes (14) in einem dem zweiten Regelkreis unterlagerten dritten Regelkreis, und

- einen dem Verstellgeschwindigkeits-Regler (26) unterlagerten Strom-Regler (30) zum Berechnen einer von der Strom-Regelabweichung ( $\Delta I$ ) abhängigen Stellgröße vor dem Verstellen des Verdrehwinkels( $\Phi$ ).

5

10. Phasenverstellvorrichtung nach Anspruch 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Stellglied (14) ein Gleichstrommotor ist.

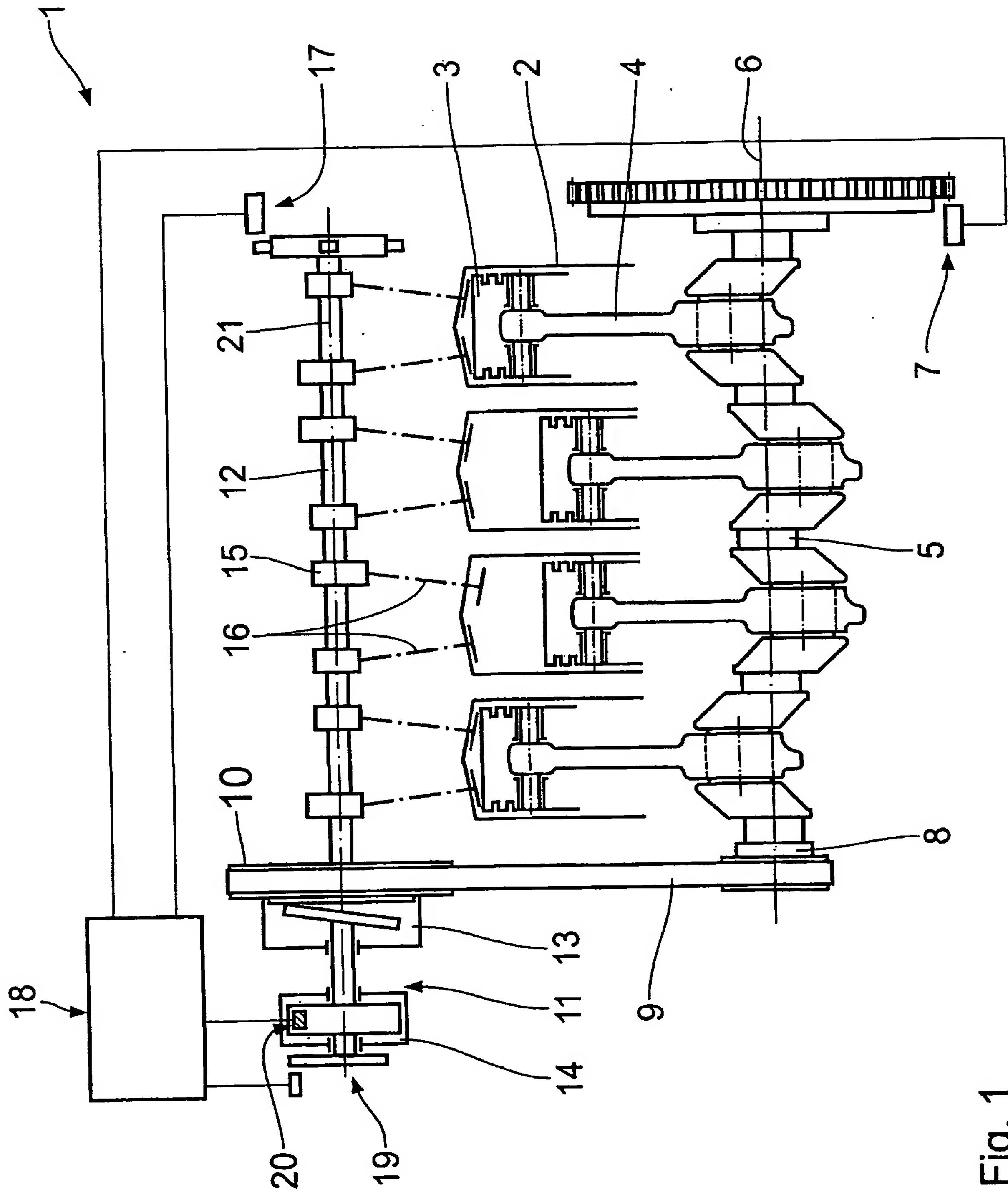


Fig. 1

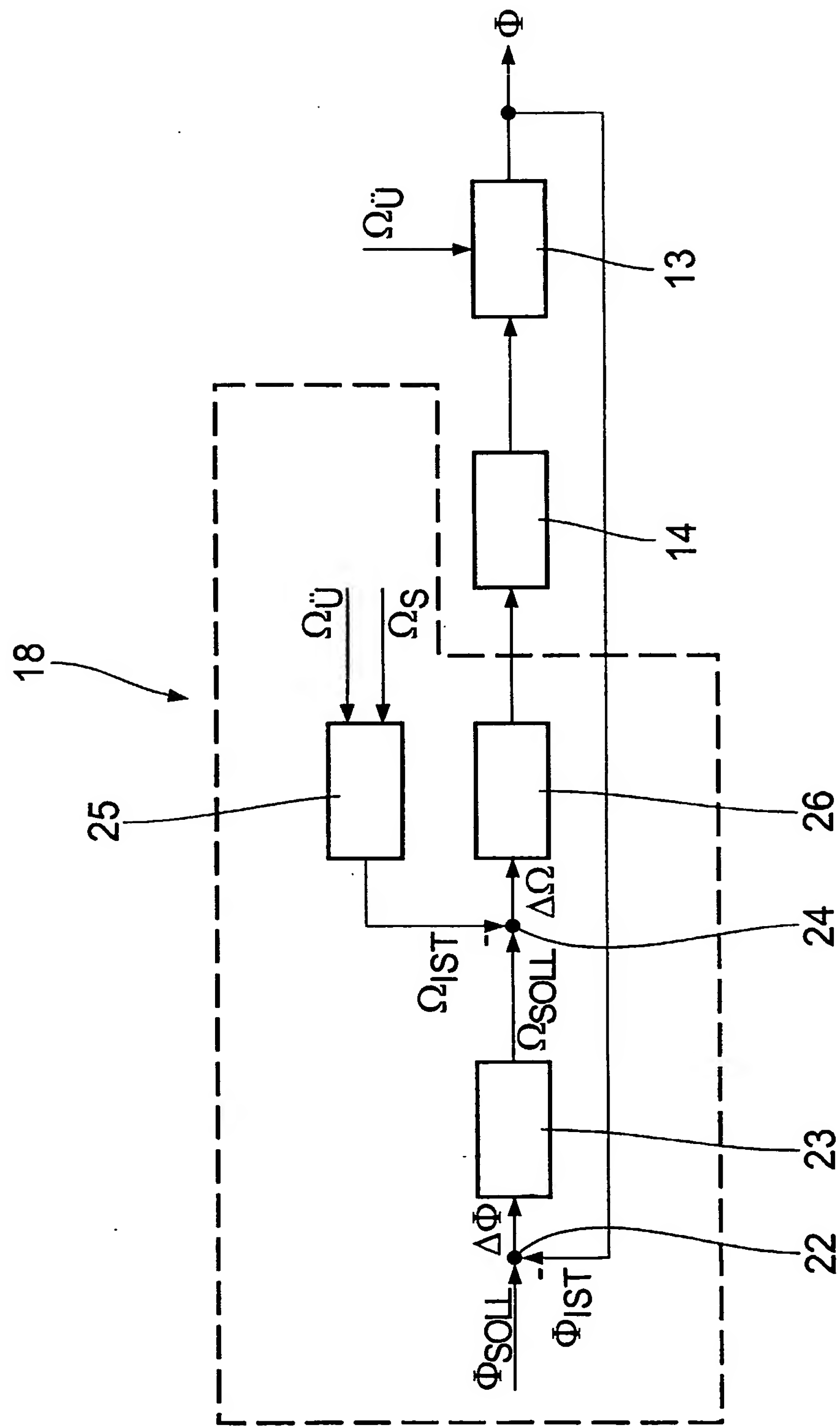


Fig. 2

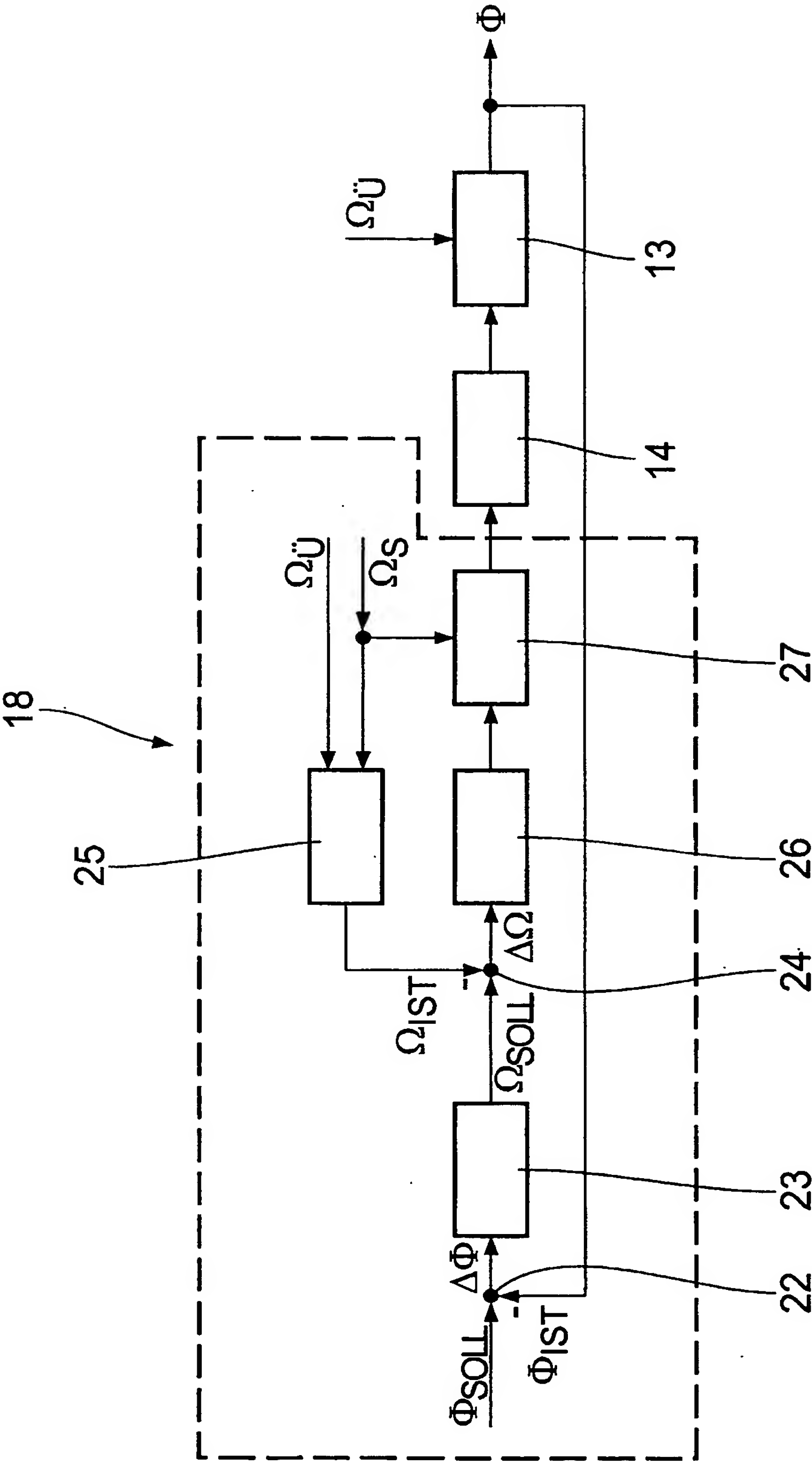


Fig. 3

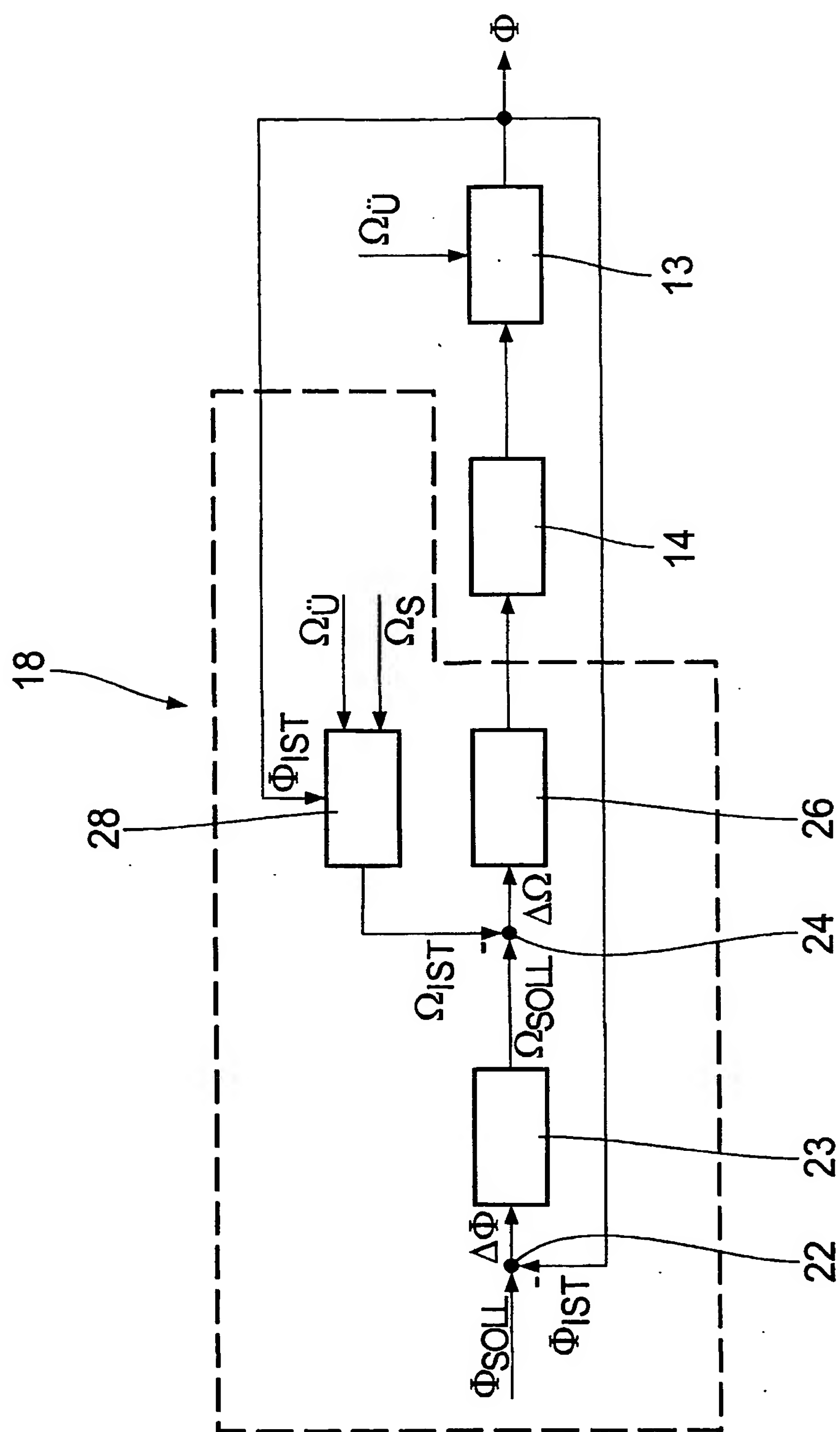


Fig. 4



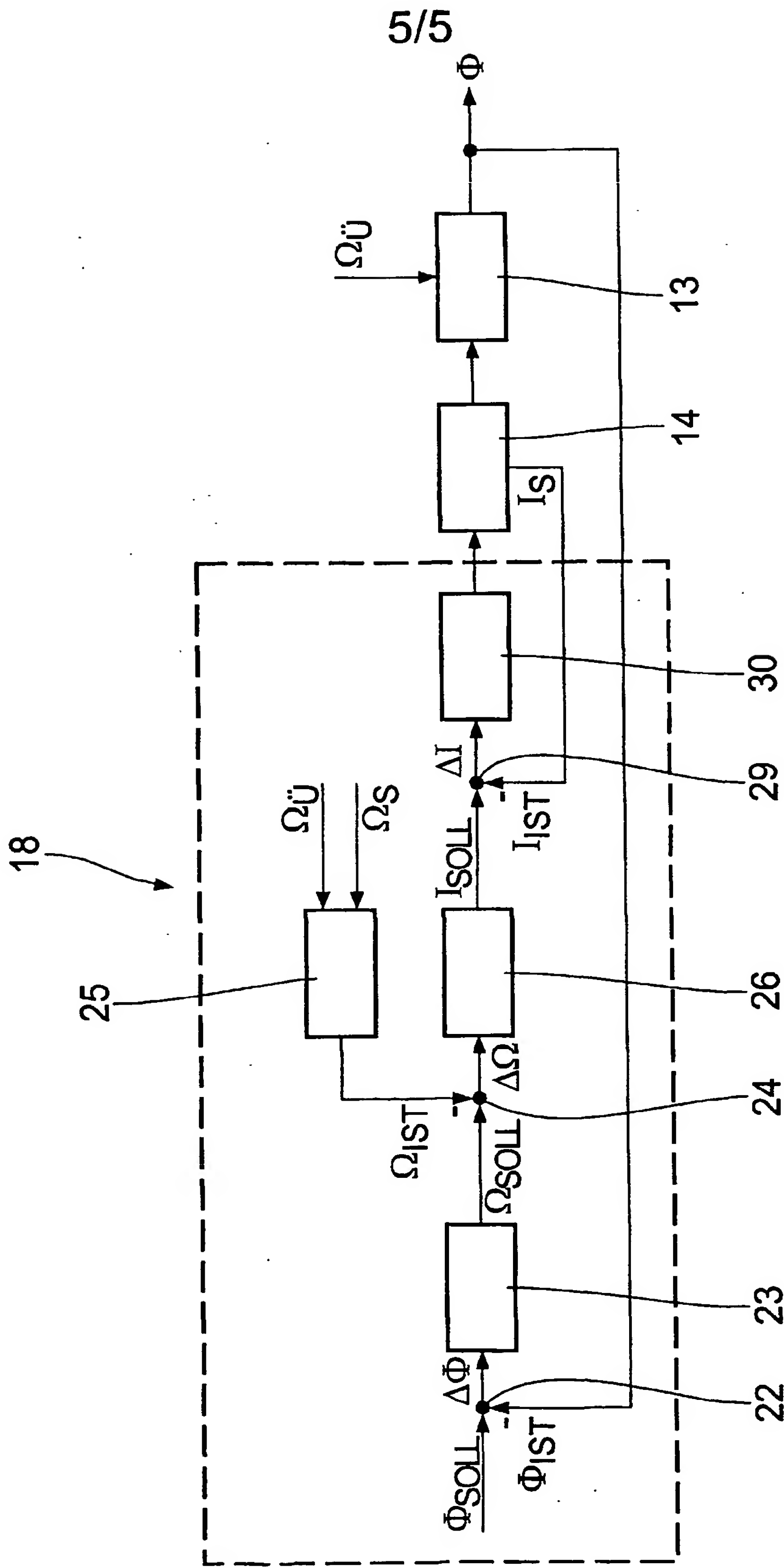


Fig. 5